

## АНАЛІЗ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ КОРПУСУ ТРУБНОГО ЕЛЕВАТОРА

І.Д. Лівак, І.М. Гойсан

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42353,  
e-mail: no@nuing.edu.ua

Проведено аналіз об'ємного напруженого стану корпусу двоштропного елеватора для насосно-компресорних труб при навантаженні, яке відповідає його максимальній вантажопідіймальності методом скінчених елементів. Визначено еквівалентні напруження і розподіл коефіцієнта запасу міцності по тілу корпусу. Виявлено зони із великими коефіцієнтами запасу міцності. Запропоновано напрями вдосконалення конструкції елеватора з рівноцінними міцнісними характеристиками і меншою масою.

Ключові слова: напружений стан, спуско-підіймальні операції, двоштропний елеватор, металоємність

Проведен анализ объемного напряженного состояния корпуса двухштропного элеватора для насосно-компрессорных труб при нагрузке, соответствующей его максимальной грузоподъемности методом конечных элементов. Определены эквивалентные напряжения и распределение коэффициента запаса прочности по телу корпуса. Выявлены зоны с большими коэффициентами запаса прочности. Предложены направления усовершенствования конструкции элеватора с равноценными прочностными характеристиками и меньшей массой.

Ключевые слова: напряженное состояние, спуско-подъемные операции, двухштропный элеватор, металлоемкость.

The analysis of the by volume tense state of corps of two beackets elevator for the pipes of pump-compressors is conducted at loading, proper his maximal the loadlifting method of tetrahedral eventual elements. Equivalent tensions and distributing of coefficient of margin of safety are certain on the body of corps. The areas are exposed with the large coefficients of margin of safety. The directions of improvement of construction of elevator are offered with equivalent durable descriptions and less mass.

Keywords: the tense the states, the lowering-liftings operations, the two beackets elevator, the capacity of metal

Спуско-підіймальні операції (СПО) з насосно-компресорними трубами (НКТ) під час ремонту свердловин, мають характер циклічно повторюваних операцій підймання колони НКТ на одну свічку з наступним від'єднанням свічки від колони і укладанням її в акумулюючий пристрій. Кількість таких циклів дорівнює числу свічок, на які розбирається колона.

При опусканні колони в свердловину, операції циклу складаються із подавання свічки із акумулюючого пристрою до колони НКТ, приєднання свічки до колони і опускання колони на одну свічку. Кількість циклів операцій в процесі опускання також відповідає числу свічок. Слід зазначити, що СПО під час поточного ремонту свердловин за витратами часу і праці значно більші за витрати на СПО у процесі буріння свердловин (витрати на СПО під час буріння не перевищують 60% від часу будівництва свердловин [1]) і тому є пріоритетними і привертають більше уваги дослідників.

СПО виконуються при всіх видах підземного ремонту і освоєння свердловин з використанням ручного інструменту. До цього інструменту відносяться і елеватори, які сприймають вагу колони труб і додаткові навантаження.

На даний час проблема міцності та надійності елеваторів не достатньо висвітлена в наукових працях, тому основна увага в статті надається розробленню ряду пропозицій у напрямі покращення існуючої проблеми з використанням сучасних методів розрахунку.

Під час СПО з використанням двох елеваторів з укладанням труб на стелажі за зміну

бригадою виконується 400...500 переміщень елеватора (відповідно подвоєне число встановлень і знімання елеватора), а також 400...500 переміщень штропів і подвоєне число з'єднання і роз'єднання їх з елеватором [2]. Ці операції виконуються двома робітниками. Кожна із операцій потребує затрати досить великих зусиль, які визначаються вагою елеватора і штропів та темпом їх переміщення.

Час та зусилля, які затрачаються на виконання операцій зі встановлення елеватора на трубу і штропів на елеватор також залежать від їх ваги і, крім того, від досконалості запірних пристроїв елеватора.

З точки зору можливого скорочення часу виконання операцій і їх трудомісткості, маси елеваторів і штропів повинні бути мінімальними. З цієї ж точки зору важливим є також забезпечення зручності і мінімальної тривалості замикання і відкривання елеватора.

Таким чином, елеватор, з погляду надійності захоплення і утримування колони труб та його міцнісних характеристик, має бути досить відповідальним інструментом, і саме тому йому приділяють велику увагу, як і усім вантажопіднімальним пристроям.

Конструкція елеватора повинна забезпечувати його міцність, надійність, безпечність та зручність в роботі. Крім того, з точки зору вимоги безпеки самі запірні системи трубних елеваторів повинні бути особливо надійними, які виключали б їх самовільне відкривання. Проте, така вимога ускладнює їх швидке відкривання і закривання.

На надійність цього інструменту впливає також кількість деталей, закладених в його конструкцію. Із збільшенням числа фіксуємих елементів елеватора підвищується рівень надійності захоплення ним труб. Проте, з іншої точки зору, зростає ризик виходу з ладу однієї із деталей та суттєво збільшується металоємність елеваторів, що негативно впливає на проведення операцій з ними.

Загалом, як бачимо, до елеватора ставляться суперечливі вимоги: з одного боку – вимоги надійності і безпеки роботи, а з іншого – забезпечення і пришвидшення оперування ним. Звідси отримання оптимальної, з точки зору цих вимог, конструкції елеватора – важлива задача їх конструювання і виготовлення.

Особливо гостро постає питання забезпечення технологічної безпеки, запобігання виникненню аварій та небезпечних ситуацій при роботі з елеваторами, у випадку дії на нього одноразових максимальних навантажень, що значно перевищують його вантажопідймальність. Саме завдяки методам неруйнівного контролю та технічної діагностики забезпечується достатня експлуатаційна надійність елеваторів починаючи від виявлення дефектів типу порушення суцільності матеріалу до оцінки його технічного стану в процесі експлуатації.

В зв'язку з широкою номенклатурою елеваторів, викликану різноманітністю діаметрів і виконань труб, компоновок трубних колон, а також вантажопідймальністю установок, для порівняльної оцінки застосовують універсальний показник – питому металоємність елеватора (маса приведена до вантажопідймальності).

Виявлено, що питома металоємність елеваторів одного розміру і типу в залежності від вантажопідймальності змінюється незначно, тому зроблено висновок про наявність прямопропорційної залежності між коефіцієнтом питомої металоємності і вантажопідймальністю. Цей показник дає змогу порівнювати між собою як однотипні елеватори, так і елеватори різних типів і розмірів [3].

Область застосування корпусних елеваторів значно ширша, ніж ступкових. В діапазоні діаметрів 60-89 мм корпусний елеватор за металоємністю перевищує ступковий в середньому на 20%.

З метою покращення параметрів і вдосконалення таких елеваторів раніше робились спроби зменшити їх масу зміною конструкцій шляхом гранично допустимого зближення штропів. Також були спроби зменшення маси елеваторів шляхом видалення матеріалу в зонах виникнення незначних напружень, які визначалися методами тензометрування [2].

Покращення характеристик елеваторів досягалось також удосконаленням технології їх виготовлення. Так, корпус рекомендувалося виготовляти із високосортної сталіної заготовки, відливої за готовою моделлю, завдяки чому стало можливим при наступній кінцевій механічній обробці значно зменшити відхід металу в стружку і отримання вилівки складної конфігурації з необхідними характеристиками міцно-

сті. Втулка і заціпки елеватора також виготовлялись із литих заготовок за виплавлюваними моделями або із штампованих заготовок. Елеватори здебільшого виготовляються зі сталей 40ХН, 15ХНЗЛ, 35ХНМЛ з термообробкою їх до твердості HRC=32[2], при якій, окрім достатніх міцнісних властивостей, забезпечується висока зносостійкість і довговічність.

Були також спроби зменшити масу елеваторів шляхом заміни сталі корпусних деталей на високоміцний алюмінієвий сплав АК-8. Але експлуатація таких елеваторів свідчить, що значного виграшу в масі це не дає. При цьому довговічність стрімко зменшується, а виготовлення ускладнюється.

В даній роботі основну увагу приділено двоштропним елеваторам, які мають більшу, ніж інші вантажопідймальність і масу. Для таких конструкцій, без сумніву, важливим є зменшення параметра маси, що і є метою розробленої статті.

Двоштропні елеватори виконуються в різних конструктивних варіантах, як, наприклад, типу ЕТАД, ЕХЛ тощо.

Елеватор типу ЕТАД можна використовувати для труб різних розмірів завдяки змінним захоплювачам. Але використання такого елеватора в роботі з трубами невеликих діаметрів призводить до збільшення затрат праці через велику його вагу, а ефект від універсальності в сфері виготовлення зменшується ускладненням виготовлення. У елеватора типу ЕХЛ наявні більш надійна та зручна у використанні порівняно з елеватором типу ЕТАД запірна система.

Провівши детальний аналіз конструкцій двоштропних елеваторів (типу ЕХЛ, ЕТАД та ін.), які знайшли своє широке застосування в промисловості, та порівнявши їх між собою, автори створили удосконалену конструкцію двоштропного елеватора, якій притаманні позитивні якості згаданих вище елеваторів. Суть внесених при цьому змін наведено нижче.

Отже, інженерний розрахунок такої конструкції традиційними методами опору матеріалів трудомісткий через складну просторову конфігурацію корпусу. Вирішити поставлену задачу, здійснити оцінку напруженого стану і дати рекомендації щодо можливих змін в конструкції існуючого двоштропного елеватора можна за допомогою сучасної комп'ютерної програми COSMOS Works. Програма є додатковим розрахунковим модулем, створеним спеціально для сумісного використання з системою твердотільного параметричного моделювання Solid Works і дає змогу проводити розрахунки з використанням методу кінцевих елементів. Програма видає картину напруженого стану, аналізуючи яку, можна виявити зони незначних напружень і внести конструктивні зміни.

Корпус – основний елемент елеватора (рис. 1) – зазвичай, розраховується як балка на двох опорах, навантажена зосередженою силою. Під дією сили  $Q_p$  корпус піддається згину і набуває зігнутої форми. Найнебезпечнішим перерізом є центральний переріз а-а.

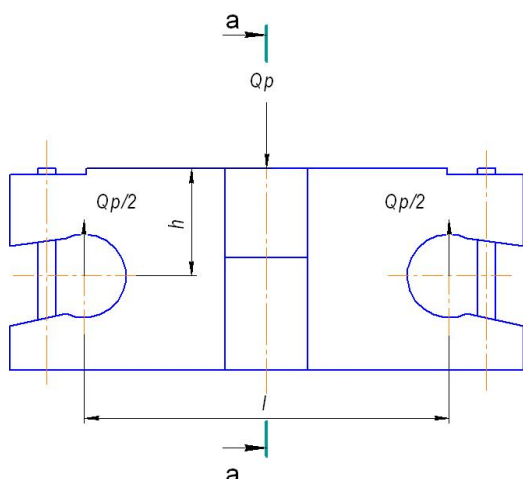


Рисунок 1 – Розрахункова схема елеватора

Максимальне нормальне напруження визначається за формулою

$$\sigma = \frac{M_{32}}{W},$$

де  $W$  – момент опору перерізу корпусу.

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6},$$

де:  $b$  – ширина провухи елеватора;

$h$  – висота від центру провухи до верхнього торця провухи.

Максимальний згинаючий момент  $M_{32}$  в цьому перерізі

$$M_{32} = \frac{Q_p}{2} \cdot \frac{l}{2},$$

де:  $\frac{Q_p}{2}$  – реакція в точці підвісу елеватора;

$l$  – відстань між точками підвісу.

Отримані результати розрахунку за даною методикою є підтвердженням правильності застосування програмного продукту в конкретному випадку.

Застосовувавши програму Solid Works для побудови твердотільної моделі корпусу існуючого елеватора типу ЭХЛ і здійснивши його розрахунок в середовищі COSMOS Works (рис. 2, 3), отримали результати, близькі до розрахованих за вказаною методикою. Це дає нам змогу використовувати метод скінченних елементів для перевірки змінених конструкцій елеваторів.

Для зручності в експлуатації даного елеватора проведено заміну вставних пальців, які запобігали випадінню штропів з провухи на рівноцінні за міцнісними характеристиками запобіжні пластини, які стопоряться від самовільного розкриття фіксаторами. При цьому було також вирізано зони із значними коефіцієнтами запасу міцності.

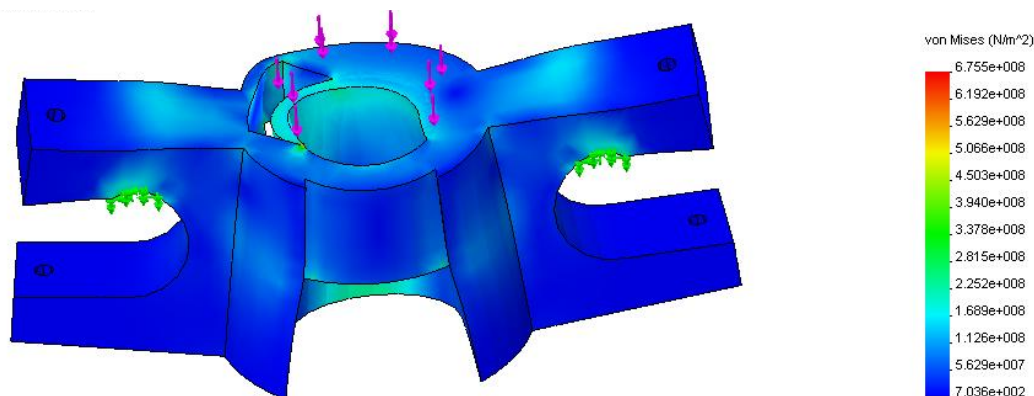


Рисунок 2 – Епюра напружень корпусу елеватора типу ЭХЛ-73-25 за критерієм von Mises

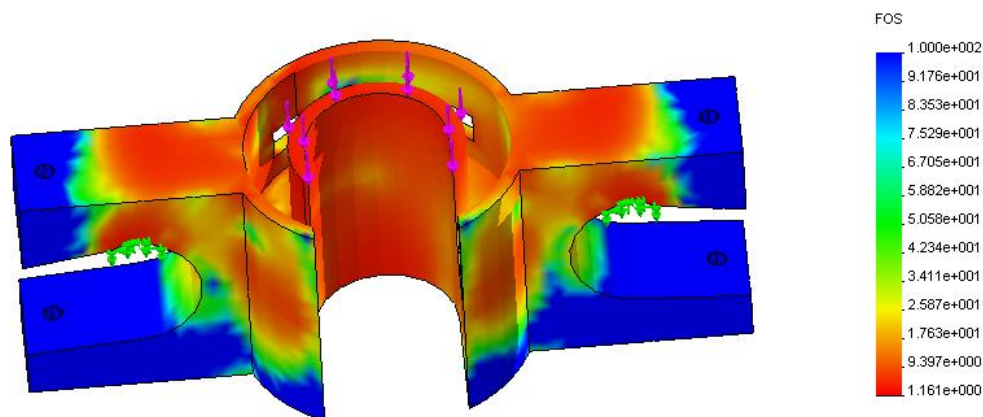


Рисунок 3 – Розподіл коефіцієнта запасу міцності корпусу елеватора типу ЭХЛ-73-25 за критерієм FOS



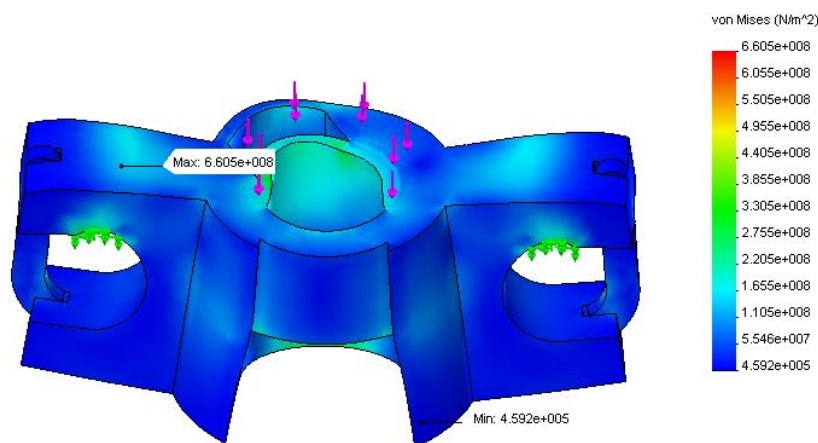


Рисунок 4 – Епюра напружень удосконаленого корпусу за критерієм міцності von Mises

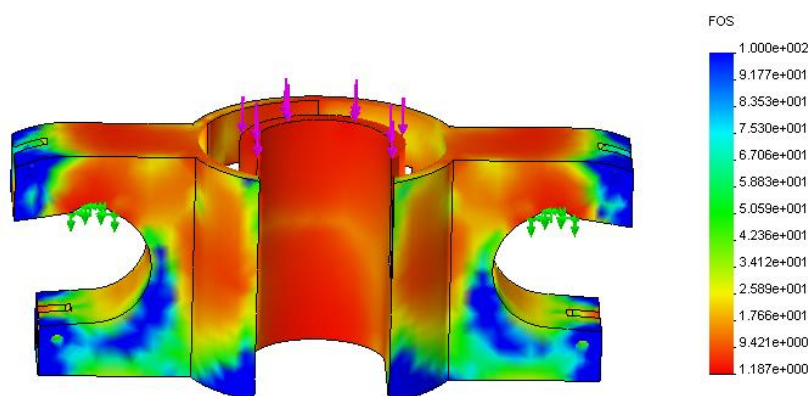


Рисунок 5 – Епюра коефіцієнта запасу міцності удосконаленого корпусу за критерієм FOS

Напружений стан вдосконаленого елеватора було перевірено в середовищі COSMOS Works. При цьому одночасно порівнювались масові характеристики до і після зміни конструкції.

В результаті таких змін було отримано конструкцію елеватора з рівноцінними характеристиками міцності у порівнянні з базовою моделлю та масою меншою на 2,4 кг. Епюри напружень та коефіцієнт запасу міцності зображені на рисунках 4 і 5.

Таким чином, запропоновано вдосконалену конструкцію елеватора меншої маси із збереженням умов міцності, підтверджених за допомогою сучасних методів розрахунку.

Наступні дослідження стосуватимуться подальшого використання програмного продукту Solid Works при розрахунку конструкцій, для яких складно застосувати аналітичний метод розрахунку.

### Література

- 1 Механіка руйнування і міцність матеріалів: довідн. посіб.; під заг. ред. В.В. Панасюка. – К.: Наук. думка, 1988. – ISBN 5 – 12 – 000300 – 1. Т.10: Міцність та довговічність нафтогазового обладнання; під ред. В.І. Похмурського, Є.І. Крижанівського. – Львів–Івано-Франківськ: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України; Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2006. – 1193 с. – ISBN 978–966–694–076–9
- 2 Молчанов Г.В. Машины и оборудование для добычи нефти и газа [Текст] / Г.В. Молчанов, А.Г. Молчанов. – М.: Недра, 1984. – 484 с.
- 3 Молчанов А.Г. Нефтепромысловые машины и механизмы: учебник для техникумов [Текст] / А.Г. Молчанов, В.Л. Чичеров. – М.: Недра, 1983. – 308 с.

Стаття поступила в редакційну колегію  
26.01.10  
Рекомендована до друку професором  
В.М. Івасівим